

Introdução

Modelação e Simulação de Sistemas Naturais

Arnaldo Abrantes

Paulo Vieira

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Área Departamental de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores

O que se passa no mundo?

- A quantidade de informação que produzimos duplica todos os anos
 - Em 2016 produzimos tanta informação como desde o início da história até 2015
 - A cada minuto produzimos centenas de milhares de pesquisas no *google* e *posts* no *Facebook*
 - Contém informação sobre como pensamos ou nos sentimos
 - Estima-se que daqui a 10 anos existam 150 mil milhões de dispositivos de medição em rede – 20 vezes mais que a população na Terra
 - A quantidade de dados duplicará a cada 12 horas.

Scientific American, D. Helbing et al, 25/2/2017

O que se passa no mundo?

- A inteligência artificial já não necessita de ser programada linha-a-linha – agora é capaz de aprender:
 - pode desenvolver a si própria de forma continuada
- 70% das transações financeiras são feitas por algoritmos
- As notícias são, em parte, geradas automaticamente
- Dentro de 10 a 20 anos, metade dos empregos de hoje serão ameaçados por algoritmos
- 40% das empresas top 500 desaparecerão na próxima década

Scientific American, *D. Helbing et al*, 25/2/2017

O que se passa no mundo?

Viewpoint

World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice

Earth Syst. Dynam., 9, 1085–1095, 2018
<https://doi.org/10.5194/esd-9-1085-2018>
© Author(s) 2018. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Earth System
Dynamics
Open Access
EGU

WILLIAM J. RIPPLE, CHRISTOPHER WOLF, THOMAS M. NEWSOME, MAURO GALETTI, MOHAMMED ALAMGIR, E
MAHMOUD I. MAHMOUD, WILLIAM F. LAURANCE, and 15,364 scientist signatories from 184 countries

Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions

Susan Solomon^{a,1}, Gian-Kasper Plattner^b, Reto Knutti^c, and Pierre Friedlingstein^d

^aChemical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, CO, USA
^bBiogeochemistry and Pollutant Dynamics and ^cInstitute for Atmospheric and Climate Science, ETH CH-8092, Zurich, Switzerland
^dLaplace/Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Unité Mixte de Recherche 1572 Commissariat à l'Energie Atomique et à l'Energie
Recherche Scientifique–Université Versailles Saint-Quentin, Commissariat à l'Energie Atomique-Saclay, l'Orme des Merisiers, 91191, France

Contributed by Susan Solomon, December 16, 2008 (sent for review November 12, 2008)

The severity of damaging human-induced climate change depends not only on the magnitude of the change but also on the potential for irreversibility. This paper shows that the climate change that takes place due to increases in carbon dioxide concentration is largely irreversible for 1,000 years after emissions stop. Following cessation of emissions, removal of atmospheric carbon dioxide decreases radiative forcing, but is largely compensated by slower loss of heat to the ocean, so that atmospheric temperatures do not

others build up under sustained warming of the processes involved. Here we illustrate an irreversibly altered world that should be among reasons for concern but are possible climate impacts include Arctic in heavy rainfall and flooding, permafrost and snowpack with attendant changes in hydrology, and a warmer

The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance

Matthias Aengenheyster¹, Qing Yi Feng^{2,4}, Frederick van der Ploeg³, and Henk A. Dijkstra^{2,4}

¹Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Department of Physics, Oxford University, Oxford, UK

²Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Department of Physics,
Utrecht University, Utrecht, the Netherlands

³Centre for the Analysis of Resource Rich Economies, Department of Economics,
Oxford University, Oxford, UK

⁴Centre for Complex Systems Studies, Utrecht University, Utrecht, the Netherlands

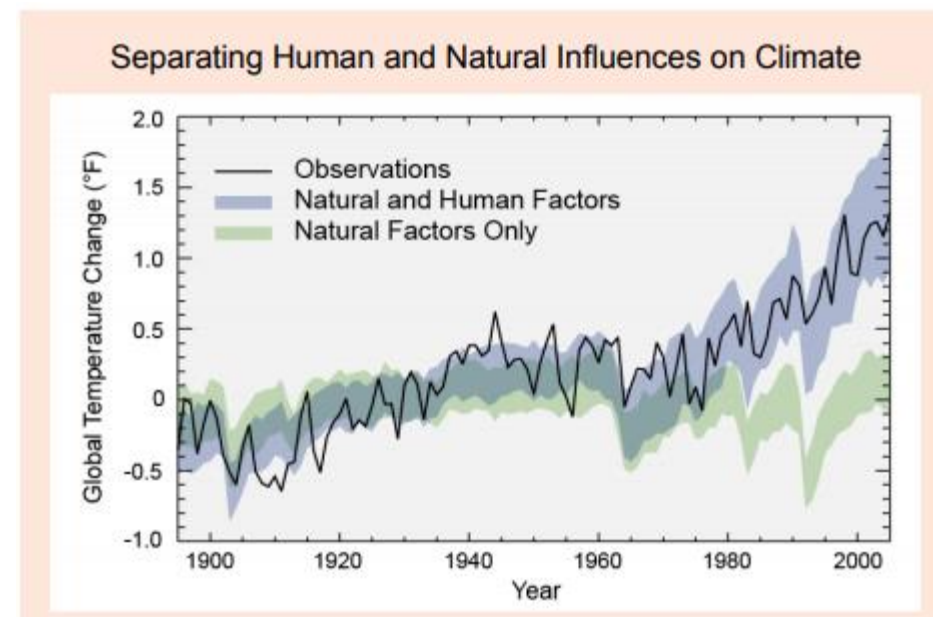
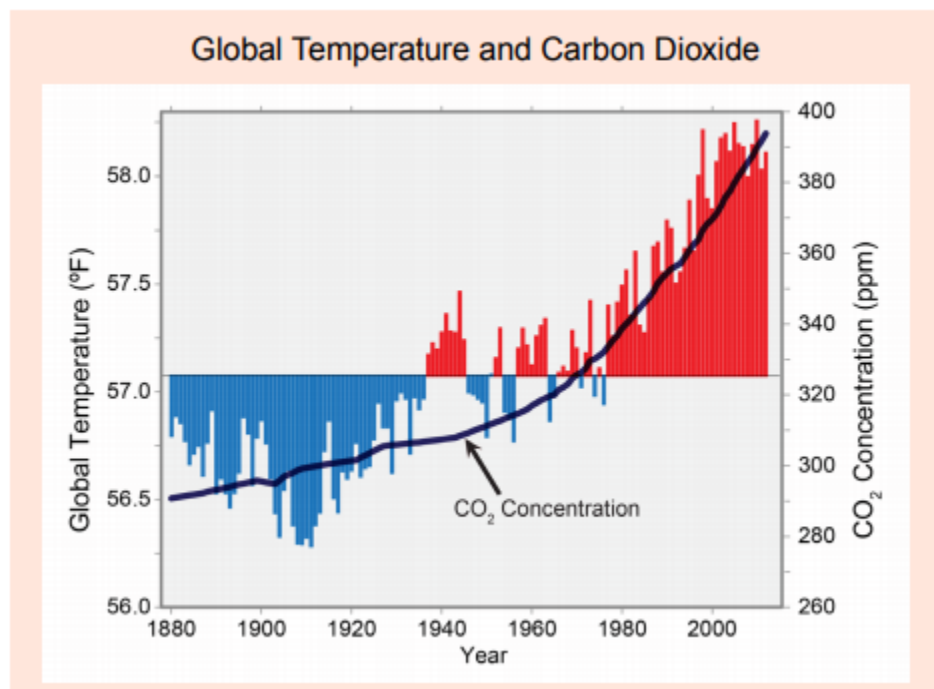
Correspondence: Henk A. Dijkstra (h.a.dijkstra@uu.nl)

Received: 17 March 2018 – Discussion started: 21 March 2018

Revised: 8 July 2018 – Accepted: 18 July 2018 – Published: 30 August 2018

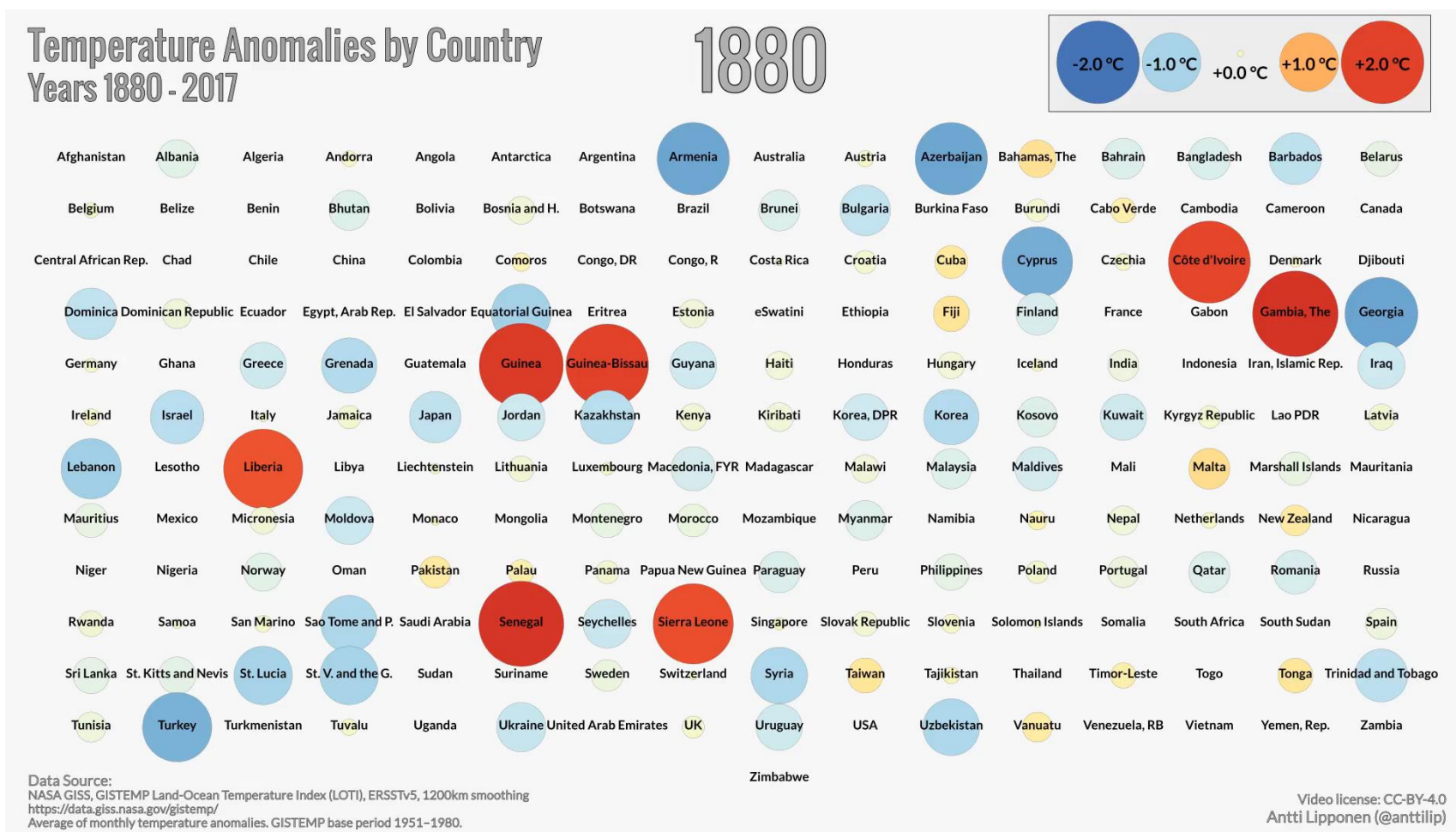
Abstract. If the Paris Agreement targets are to be met, there may be very few years left for policy makers to start cutting emissions. Here we calculate by what year, at the latest, one has to take action to keep global warming below the 2 K target (relative to pre-industrial levels) at the year 2100 with a 67 % probability; we call this the point of no return (PNR). Using a novel, stochastic model of CO₂ concentration and global mean surface temperature derived from the CMIP5 ensemble simulations, we find that cumulative CO₂ emissions from 2015

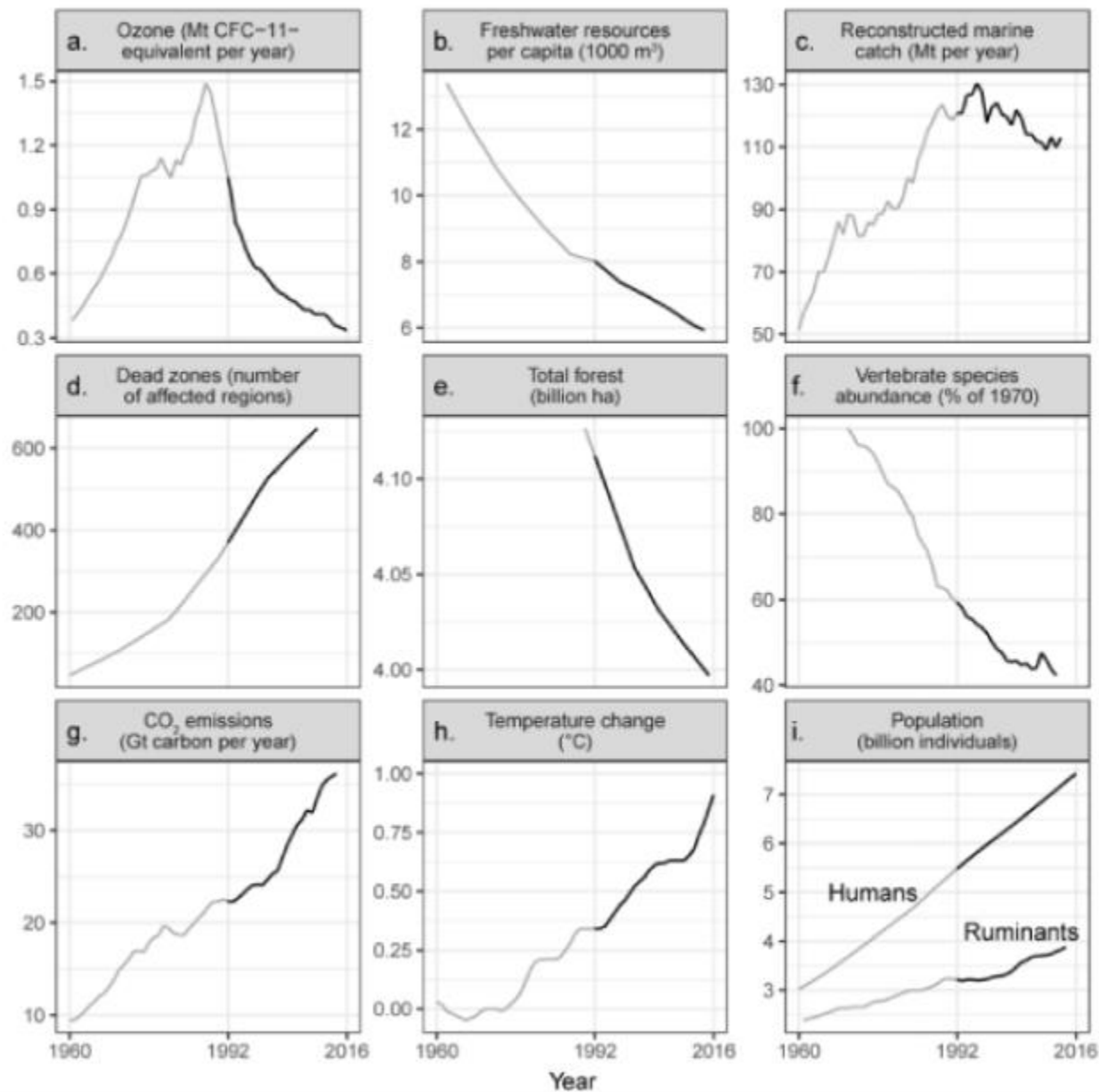
O que se passa no mundo?



http://s3.amazonaws.com/nca2014/high/NCA3_Climate_Change_Impacts_in_the_United%20States_HighRes.pdf

O que se passa no mundo?





<https://academic.oup.com/bioscience/article/67/12/1026/4605229>

Um mundo em mudança

- A maior constante dos tempos modernos é a Mudança que está a transformar radicalmente o mundo onde vivemos
 - Tecnologia (informação, materiais, energia)
 - População (crescimento, distribuição de riqueza)
 - Sociedade (entretenimento, trabalho, saúde, economia)
 - Ambiente (clima, ecossistemas)
- As mudanças estão a acontecer a um ritmo - Aceleração - cada vez maior

Um mundo em mudança

- Muitas destas mudanças são conquistas maravilhosas da Humanidade (comunicações, saúde, transportes)
- Outras há, contudo, que empobrecem a Civilização (flagelos sociais, tais como o desemprego, criminalidade, drogas) ou constituem mesmo uma ameaça séria à nossa sobrevivência (aquecimento global)

Um mundo em mudança

- Para ultrapassarmos os desafios que nos são colocados pelos novos problemas é necessário adoptarmos novas abordagens e ferramentas que induzam **Novas Formas de Pensar**

Pensamento Holístico/Sistémico

- Consiste numa forma de pensar nas coisas como um todo, tentando olhar para os problemas na sua globalidade, enfatizando as inter-relações entre coisas em vez das coisas em si, observando os padrões de mudança em vez de olhar para fotografias estáticas
- Exemplo:
 - Bird Feeder Dilemma – “all you wanted was a more pleasant morning breakfast”
 - <http://read.beyondconnectingthedots.com>

Modelação e Simulação Computacional

- Problema: Não é prático aprender através do tradicional método experimental, ou seja, por experiência direta:
 - Demora demasiado tempo (qual o impacto do aumento de CO₂ na atmosfera?)
 - Custa muito dinheiro (como treinar pilotos de aviação?)
 - É perigoso (como treinar operador de central nuclear?)
 - Pode ser impossível (como testar sistemas que ainda não existem?)

Modelação e Simulação Computacional

- Solução: Construir modelos (e.g., mundos virtuais) e proceder à correspondente simulação computacional:
 - Permite realizar compressão/expansão do tempo
 - Permite responder a questões do tipo *What If...?*
 - Podem-se alterar parâmetros e desse modo proceder à otimização e à análise de sensibilidade dos mesmos
 - Em sistemas complexos não existe outro método possível (métodos analíticos são intratáveis)

Modelos

- Todo o conhecimento que temos do mundo é na forma de modelos
- Tipos de modelos:
 - Analógicos ou “em escala” (e.g., modelo reduzido de uma ponte)
 - Modelos matemáticos (e.g., equações de Newton e Maxwell)
 - Modelos gráficos ou simbólicos (e.g., tabuleiro e peças do Monopólio ou Xadrez).

O que é um modelo?

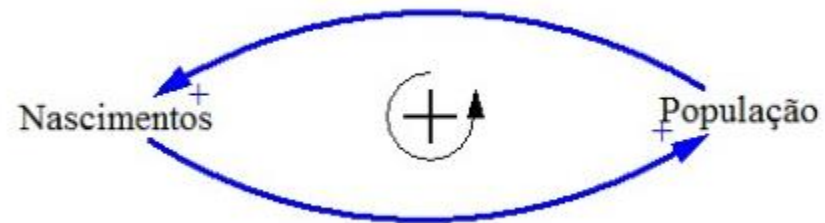
- Representação simplificada de um processo ou sistema, que auxilia no cálculo ou previsão do sistema real (aproximado)
- Não existe “O Modelo” do sistema, mas sim um modelo, mais ou menos adequado a cada situação
 - Frequentemente quando se altera a “pergunta” sobre o sistema é necessário alterar também o modelo.

Modelos

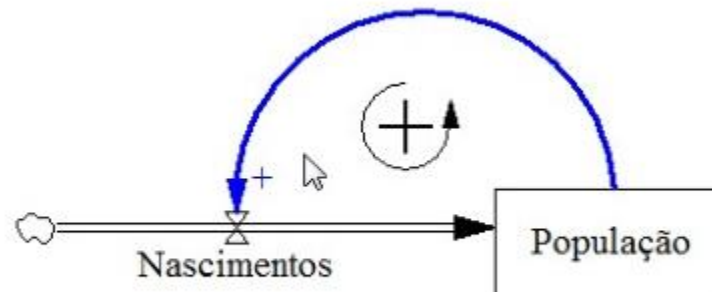
- Quantitativos
 - Agregados – níveis e fluxos (eq. diferenciais)
 - Desagregados – baseados em agentes
- Qualitativos
 - Rich picture / Mind map
 - Ciclos causais (ênfase nos ciclos de *feedback*)

Exemplos

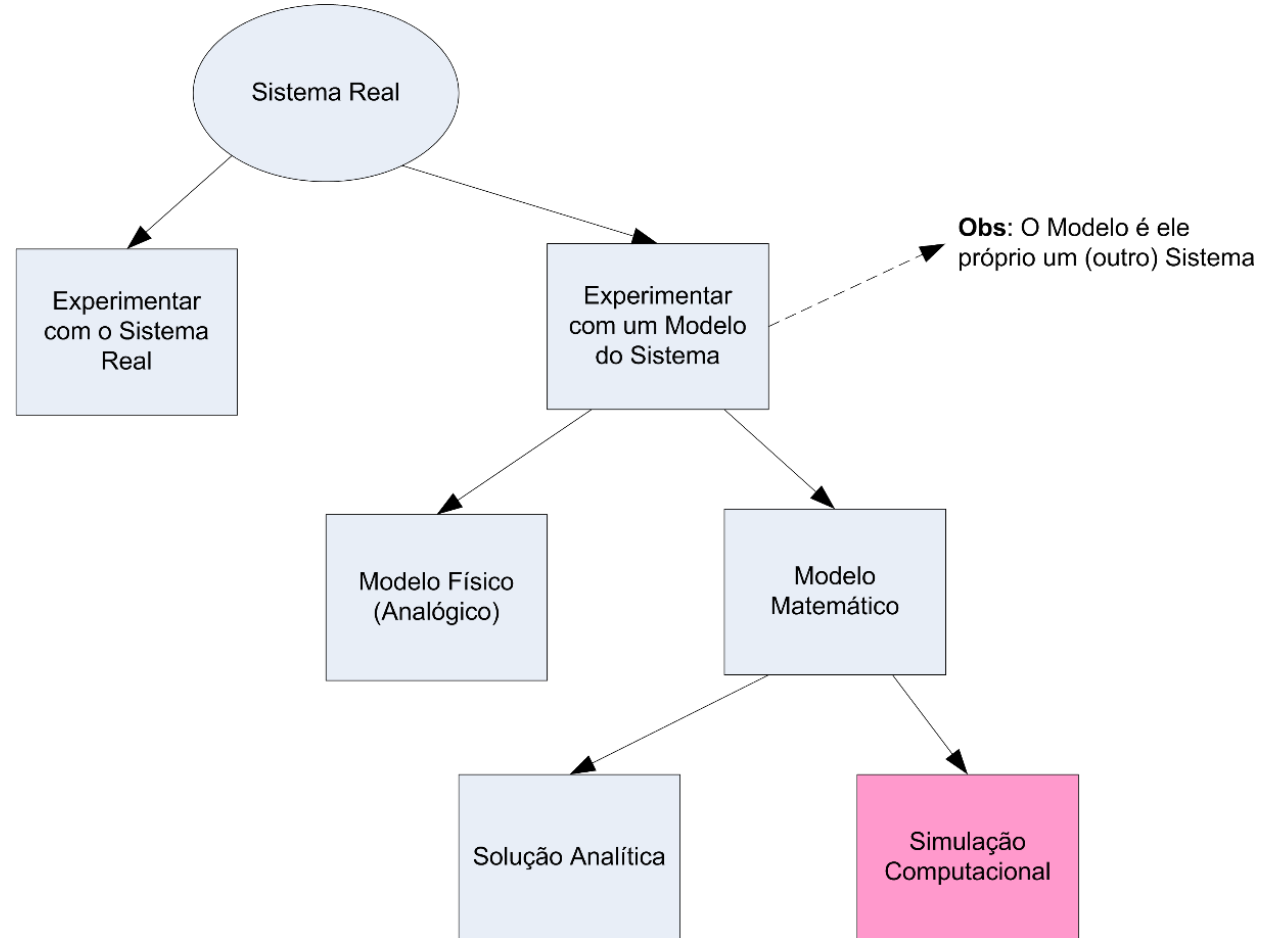
- Ciclos causais



- Níveis e fluxos (*stocks and flows*)

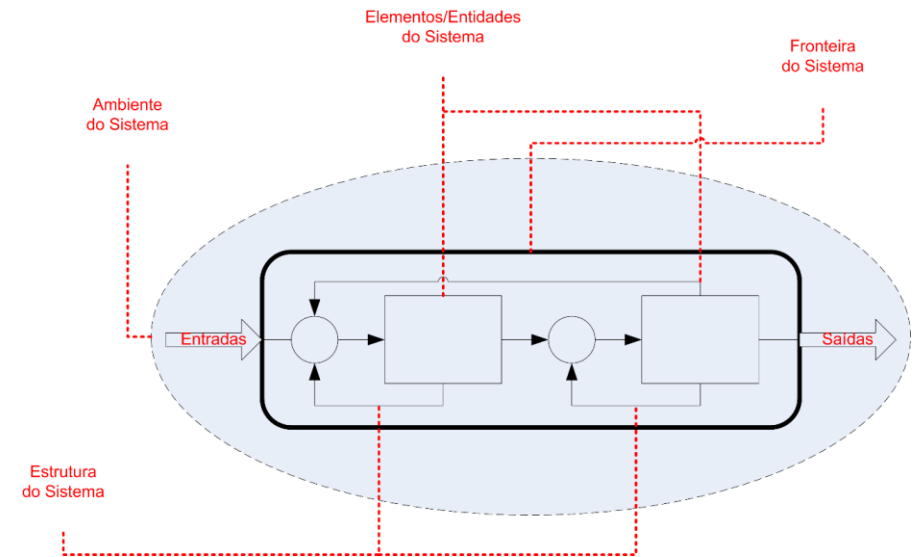


Método Experimental versus Simulação



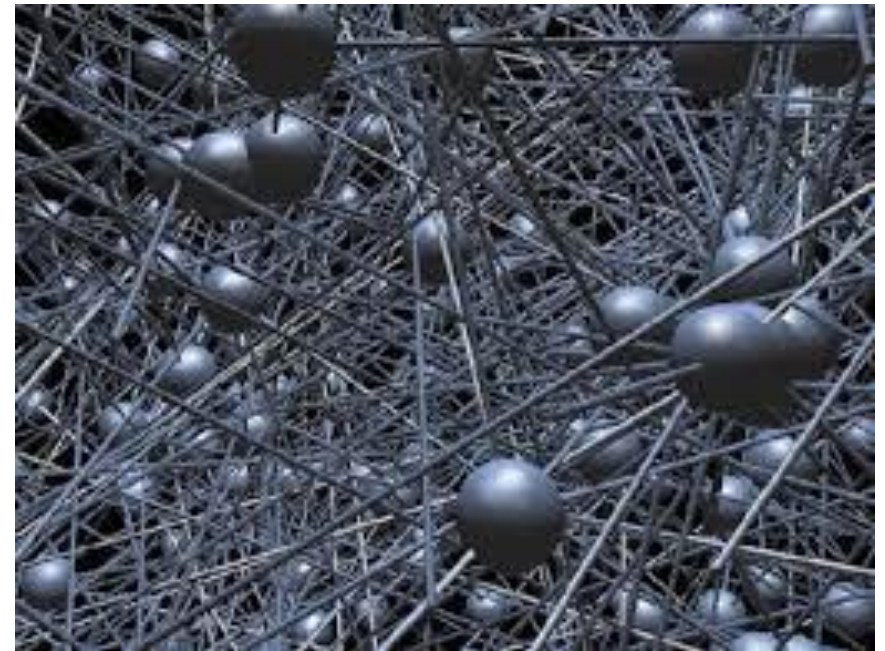
Definição de Sistema

- Um **sistema** é um conjunto de elementos (entidades, atores, peças) inter-relacionados de acordo com uma dada estrutura. A configuração dos seus elementos permite-lhe realizar um dado conjunto de funções no seu ambiente que podem ser interpretadas como servindo um dado propósito.
- A **fronteira** do sistema define a sua identidade e autonomia, sendo permeável a entradas e saídas (de e para o ambiente)



Exemplos de Sistemas

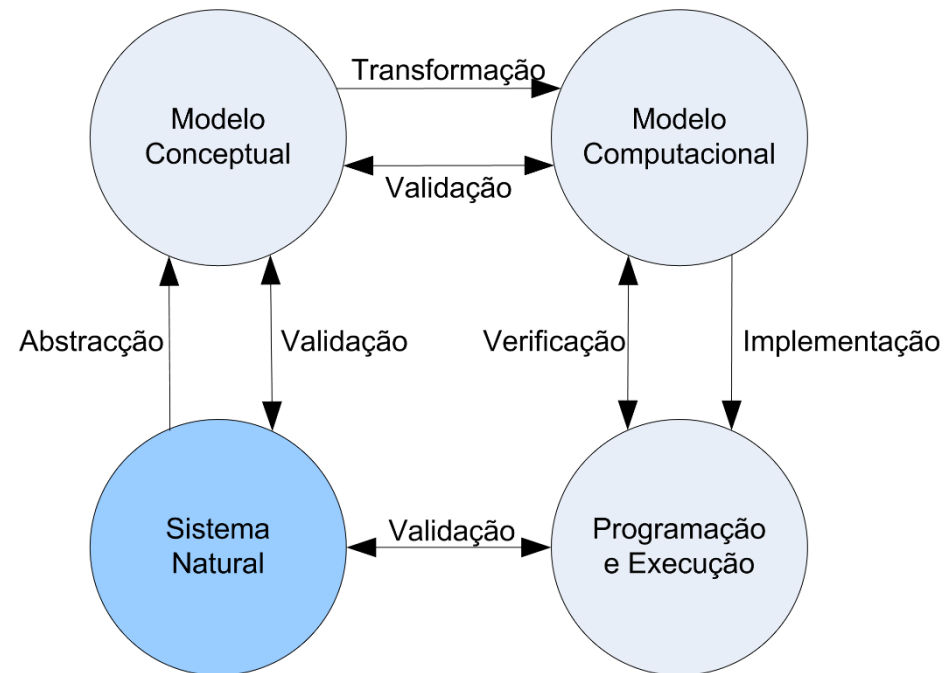
- Um organismo
- Uma floresta
- Um ecossistema de presas e predadores
- Um cardume de peixes
- Uma equipa de futebol
- Uma rede de computadores
- Uma empresa
- Uma cidade
- A Terra
- O ISEL
-
- *Systems everywhere...*



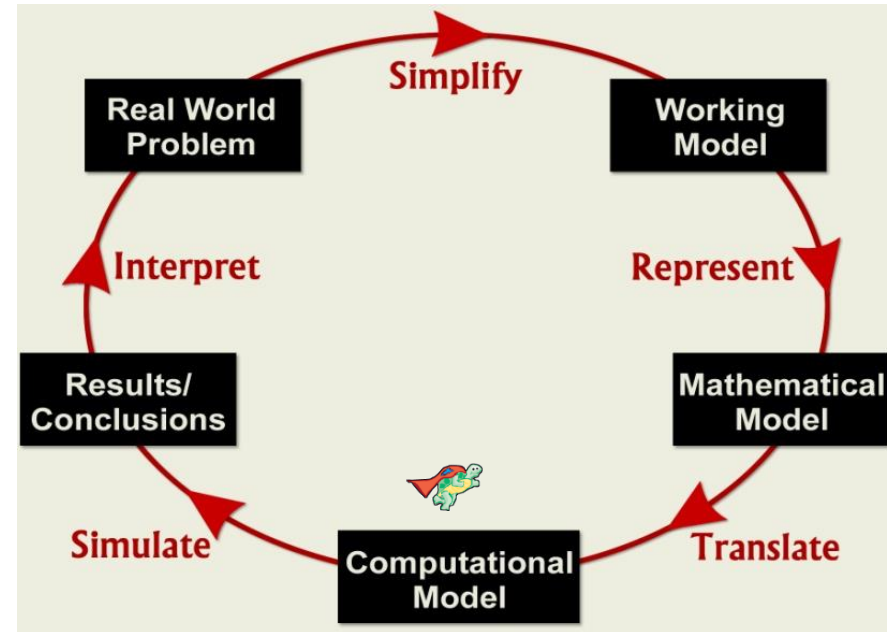
“Everything is connected to everything”

Os passos conceituais em M&S

- O processo de M&S é iterativo sendo, conceitualmente constituído pelos seguintes passos:



M&S: processo iterativo



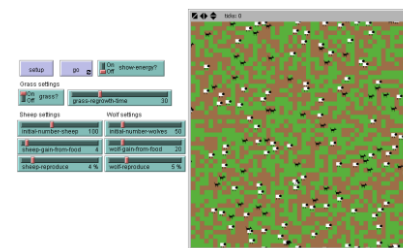
EXEMPLO:



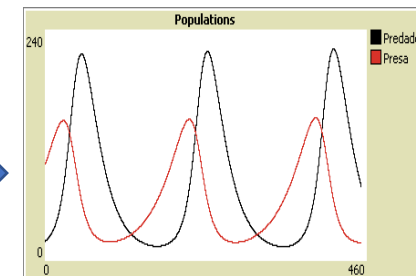
Sistema Real

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \alpha x - (\beta y)x \\ \dot{y} &= (\delta x)y - \gamma y\end{aligned}$$

Modelo Matemático

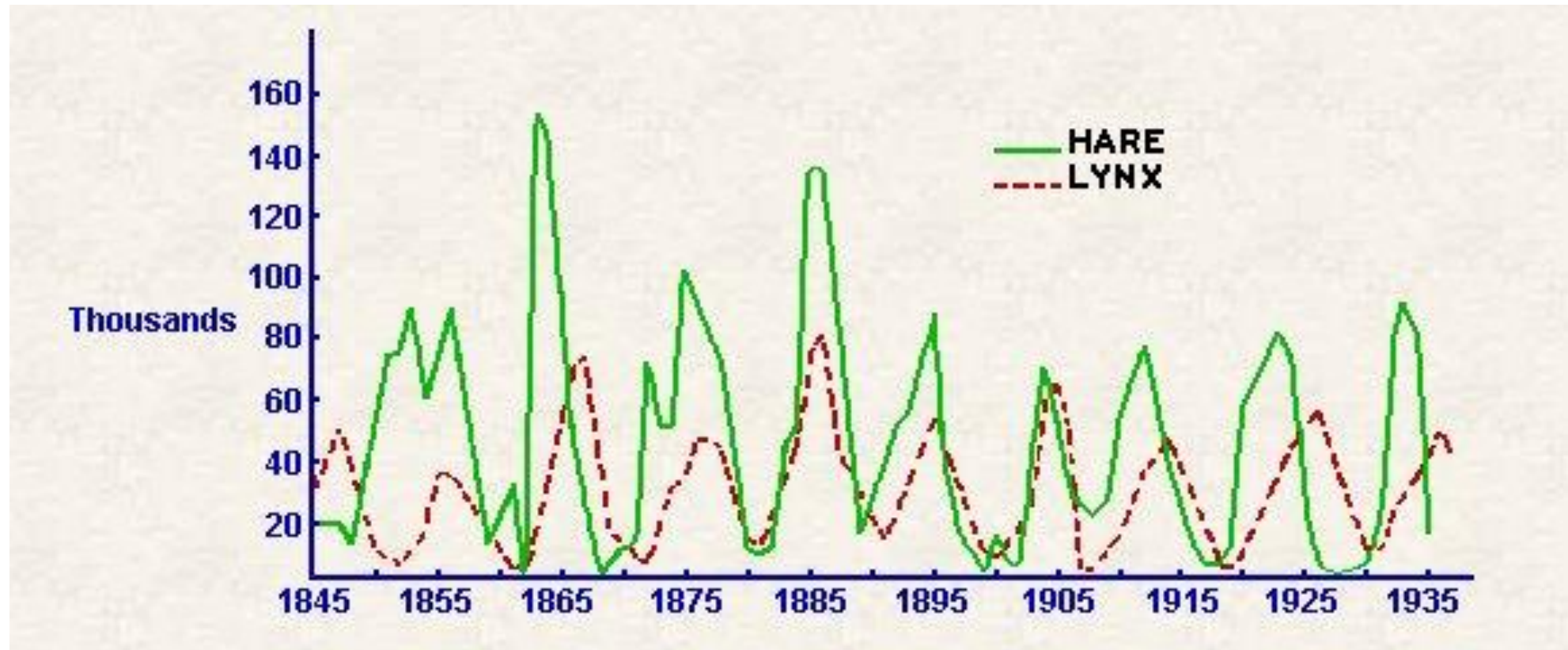


Modelo Computacional



Resultados
Análise da Simulação

Exemplo: ecossistema



Exemplo: ecossistema

- Evolução de duas populações (lince canadiano e lebre da montanha) ao longo de um século
- Observações:
 - As duas populações evoluem com dinâmica oscilatória (período de cerca de 10 anos)
 - Os períodos são iguais para as duas populações?
 - Os picos das duas populações coincidem ou estão desfasados?
- Hipótese:
 - Face à abundância de presas o número de predadores aumenta, forçando o número de presas a diminuir.
 - A redução do número de presas faz diminuir a taxa de natalidade dos predadores devido à redução do alimento disponível, o que reduz o seu número.
 - Por sua vez, isto permite que o número de presas volte a aumentar. E o ciclo repete-se.
- Que modelo poderá traduzir este sistema?

Modelo de Lotka-Volterra

- Interação entre duas populações (presas e predadores)
 - Modelo de Lotka-Volterra (eqs. diferenciais)

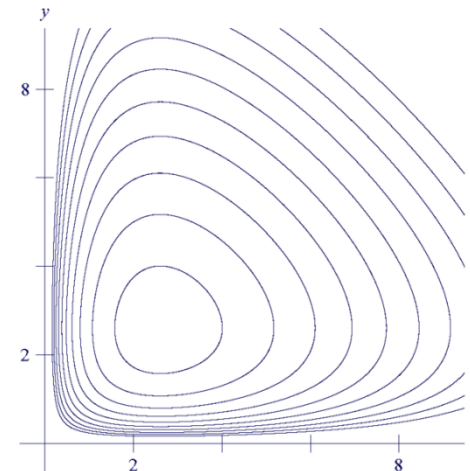
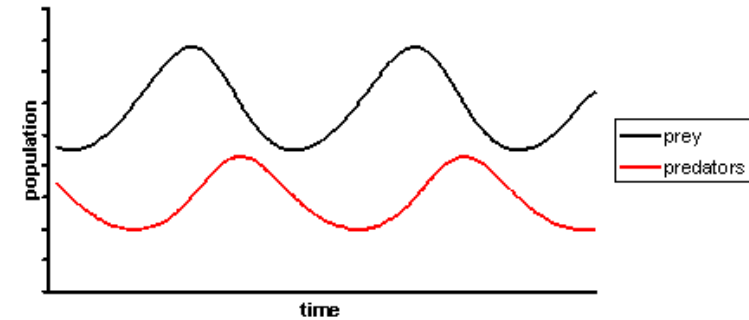
N_1	Número de presas (e.g., lebres)
N_2	Número de predadores (e.g., lince)
α	Taxa de natalidade das presas (o crescimento das presas seria exponencial se não houvesse predadores)
β	Eficiência dos predadores na sua actividade de caça
β N_2	Taxa de mortalidade das presas
γ	Taxa de mortalidade dos predadores (o seu decréscimo seria exponencial se não comessem)
δ	Efeito da alimentação na taxa de reprodução dos predadores
δN_1	Taxa de natalidade dos predadores

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = N_1(t)(\alpha - \beta N_2(t))$$

$$\frac{dN_2(t)}{dt} = N_2(t)(\delta N_1(t) - \gamma)$$

Resultados da simulação

- Resultados da simulação com as equações de Lotka-Volterra
 - Evolução das populações
 - Trajectórias no espaço de fase

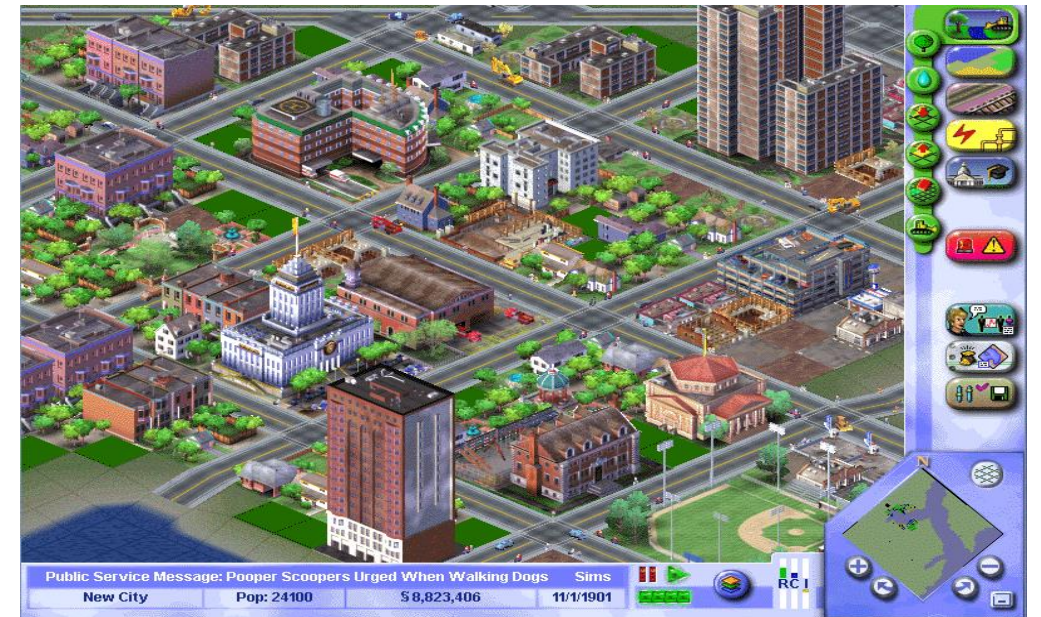


Exemplo: Modelo de tráfego no SimCity

- O SimCity usa desde há muito um modelo de simulação de tráfego:

In SimCity 4, the traffic simulation is divided into layers, calculating separate routes for commute traffic via car, foot, or bus; freight truck and train traffic; commuter train traffic; and more. Instead of just getting a figure representing the traffic across a cell, you can find out how much of that was pedestrian traffic, commuter cars, freight trucks, etc. So the problem's solved: just take each route from the traffic simulator and draw a little car or person following that route through the city.

(ver em http://simcity.ea.com/about/inside_scoop/automata3.php)



Estreita Ligação entre M&S e os Jogos

- O SimCity é um jogo? Ou é um simulador? (o SimCity foi inspirado no trabalho Urban Dynamics, de Jay Forrester, cientista do MIT, estudioso da área da Dinâmica dos Sistemas)
- O FishBanks é outro jogo/simulador que ilustra a chamada Tragédia dos Comuns, abordando o problema da sustentabilidade das pescas
 - <https://mitsloan.mit.edu/LearningEdge/simulations/fishbanks/Pages/fish-banks.aspx>